Elektronica bouw

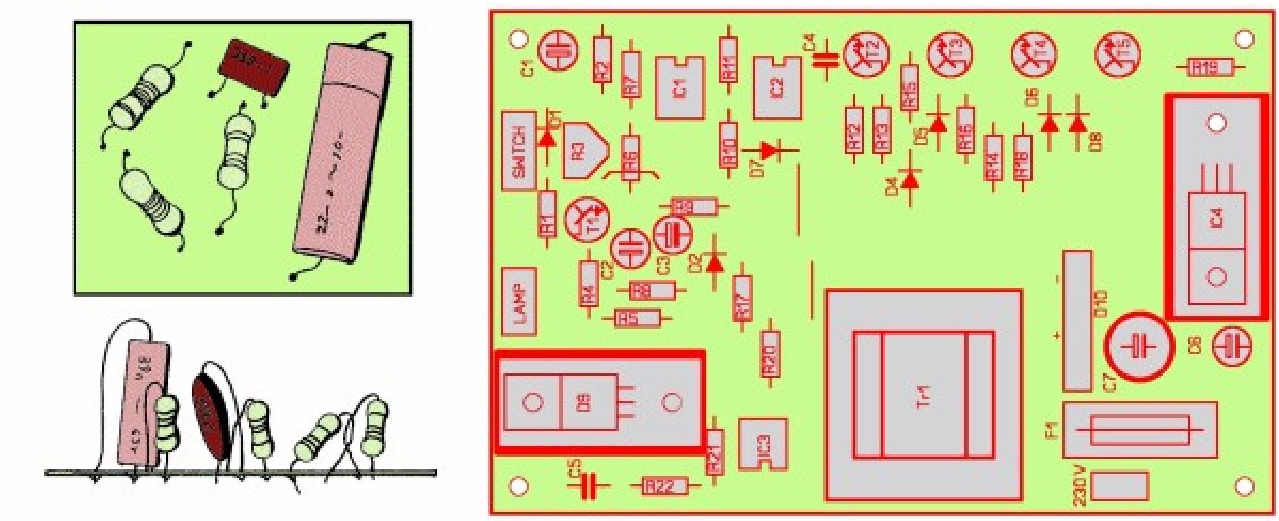
Nadat u uw schakeling op een breadboard hebt uitgewerkt en getest, komt het er op aan die schakeling om te zetten tot een keurige print en dito behuizing. Vaak besteden hobbyisten daar niet erg veel aandacht aan. Jammer, want met een beetje aandacht maakt u van uw ontwerp een waar kunstwerkje, waar u trots op kunt zijn.
Een belangrijk punt waar u bij de bouw van een apparaat moet op letten zijn ongewenste koppelingen. Onder ongewenste koppelingen verstaat men elektrische verbindingen tussen onderdelen die volgens het schema niet met elkaar verbonden zijn. Deze ontstaan door parasitaire capaciteiten, spoelen en weerstanden die onzichtbaar tussen onderdelen aanwezig zijn, maar wél hun invloed doen gelden.

Auteur: Jos Verstraten, Landgraaf, Nederland
Email: josverstraten@live.nl
Publicatiedatum: 16-08-2017

Een keurig printontwerp

Horizontaal en verticaal ontwerpen

Als u een of ander goedkoop Chinees elektronisch prul openschroeft treft u daarin meestal een print aan, waarop de onderdelen op de in onderstaande figuur links voorgestelde manier zijn gesoldeerd. Het zal ongetwijfeld werken, maar zo'n eindresultaat is nu niet bepaald iets waar u trots op kunt zijn. Als u liefde voor uw hobby hebt, dan zorgt u er in ieder geval voor dat alle onderdelen in een mooi horizontaal en verticaal raster staan. Het kost wat meer gepuzzel bij het ontwerpen van de print maar een print zoals rechts voorgesteld prefereert u toch ook?

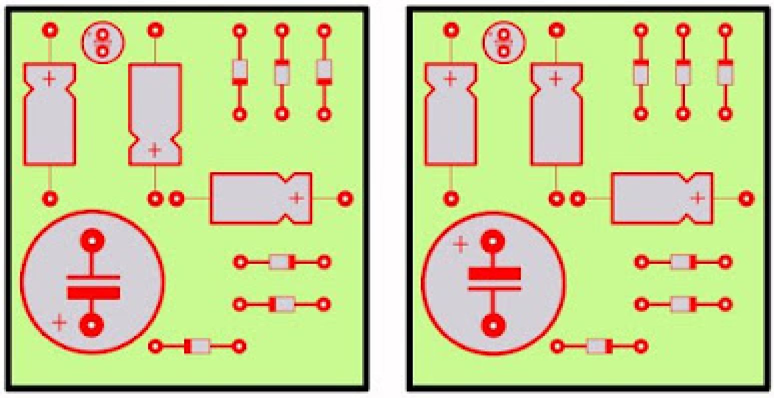


Het ontwerpen in een horizontaal en verticaal raster geeft uw print een professioneel uiterlijk. (© 2017 Jos Verstraten)

Gepolariseerde onderdelen

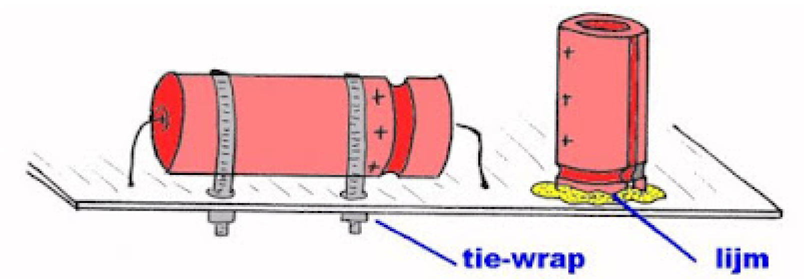
Gepolariseerde onderdelen zijn componenten die een plus en een min aansluiting hebben,

zoals dioden en elektrolytische condensatoren. U kunt deze onderdelen op de print opnemen zoals het uitkomt, maar u kunt ook de moeite doen de print zó te ontwerpen dat de positieve aansluitingen van alle elco's en de kathoden van alle dioden bijvoorbeeld gericht zijn naar de bovenzijde en de rechterzijde van de print. U kunt er ook voor zorgen dat alle IC's op dezelfde manier geplaatst worden, dus met de pennen 1 en 14 of 1 en 8 naar boven. In onderstaande figuur wordt toegelicht wat wij bedoelen. Op de linker print is geen rekening gehouden met deze richtlijnen, op de rechter wél.



Het uitrichten van gepolariseerde onderdelen op uw print.
(© 2017 Jos Verstraten)

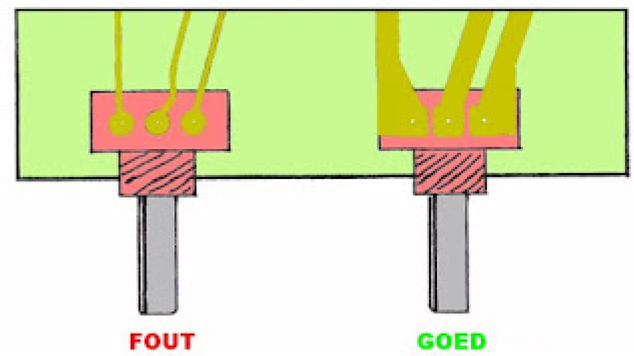
Zware onderdelen
Soms moet u zware onderdelen, zoals trafo's of grote elco's, op uw print opnemen. Vertrouw nooit ofte nimmer op soldeereilandjes als enige mechanische bevestiging voor dergelijke onderdelen. Als u het apparaat per ongeluk laat vallen is de kans groot dat de trafo of zware elco uit de soldeereilandjes wordt gerukt. Wij weten het wel: vroeger hadden printtrafo's minstens twee flenzen, waardoor de mogelijkheid aanwezig was de trafo met twee of vier M3 boutjes op de print vast te schroeven.
Moderne printtrafo's hebben dergelijke flenzen niet meer: dat kost immers iets meer materiaal en een ingewikkelder gietvorm voor de behuizing en in de keiharde wereldwijde concurrentie kunnen die paar extra centen het verschil tussen verkoop of stort uitmaken. Als u geen mogelijkheid ziet een printtrafo met minstens twee boutjes op de print te bevestigen, gebruik dan in ieder geval lijm onder het trafolichaam om het onderdeel mechanisch met de printplaat te verbinden. Zware elco's kunt u ofwel vastlijmen op de print, ofwel door middel van een tie-wrap op de print fixeren.



Het monteren van zware elco's op de print. (© 2017 Jos Verstraten)

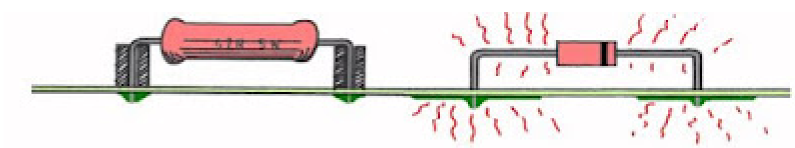
Printmontage van schakelaars en potentiometers
Als u schakelaars en draaipotentiometers rechtstreeks op de print opneemt zit u met het probleem hoe u deze onderdelen de noodzakelijke mechanische stabiliteit geeft. In onderstaande figuur hebben wij voorgesteld hoe u het niet en wél moet doen. Ontwerp zo groot mogelijke soldeereilandjes rond de drie pennen van de potentiometer en maak de drie kopersporen die de signalen aan- en afvoeren zo breed mogelijk. Vergeet niet dat de koperlaag op het basismateriaal is gelijmd en dat de hechting van het koper op het basismateriaal toeneemt als het contactoppervlak tussen print en koper groter is. De linker potentiometer zal, nadat u er een hondertal keren aan gedraaid hebt, waarschijnlijk loslaten van de print omdat het minimale lijmoppervlak tussen de veel te dunne soldeereilandjes en

het basismateriaal de kracht van het bedienen van de potentiometer niet kan weerstaan.



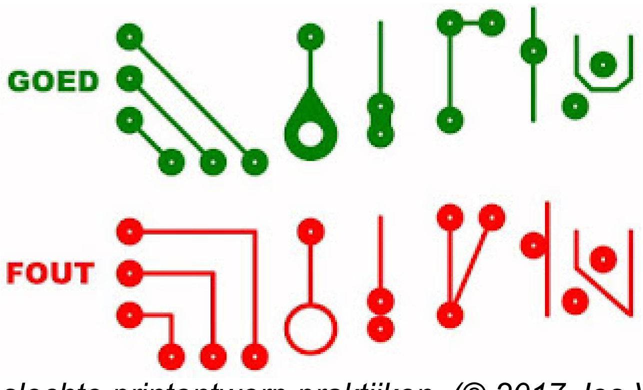
Een slechte en een goede manier om een draaipotentiometer op uw print op te nemen. (© 2017 Jos Verstraten)

Hete componenten
Het zal wel zonder meer duidelijk zijn dat u onderdelen die heet worden niet óp de print mag monteren. In onderstaande figuur is getekend hoe het wél moet. De componenten zitten ongeveer 0,5 cm boven de print, zodat de hitte het basismateriaal van uw print niet kan verkolen. Hiervoor bestaan speciale ceramische afstandsbusjes die u over de aansluitdraden van het onderdeel kunt schuiven. Als het enigszins kan, maakt u natuurlijk grote soldeereilanden, zodat de warme die via de aansluitdraden wordt aangevoerd via het grote koperoppervlak kan afvloeien naar de omgevingslucht.



Het monteren van componenten die heet kunnen worden. (© 2017 Jos Verstraten)

Goede en slechte printontwerp praktijken
Tot slot van deze paragraaf geven wij in onderstaande figuur een aantal voorbeelden van goed en slechte printontwerp praktijken. De meeste voorbeelden lijken voor de hand te liggen, maar u moet er eens op letten hoe vaak tegen deze basisregels wordt gezondigd.

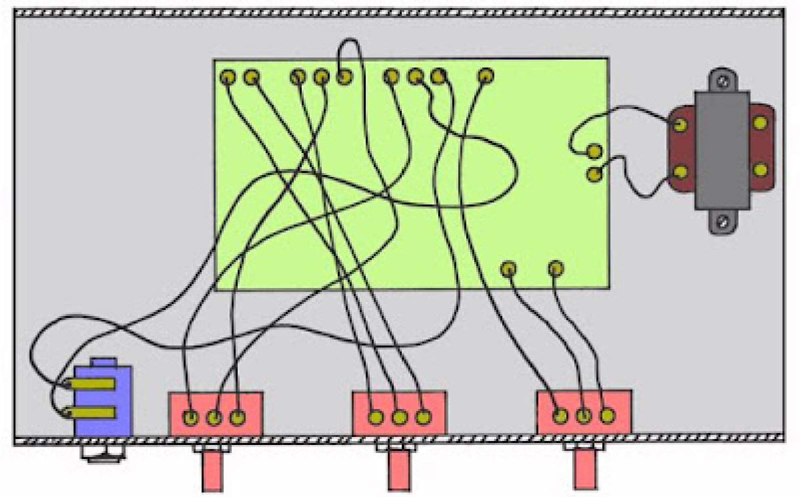


Goede en slechte printontwerp praktijken. (© 2017 Jos Verstraten)

Een keurige bedrading

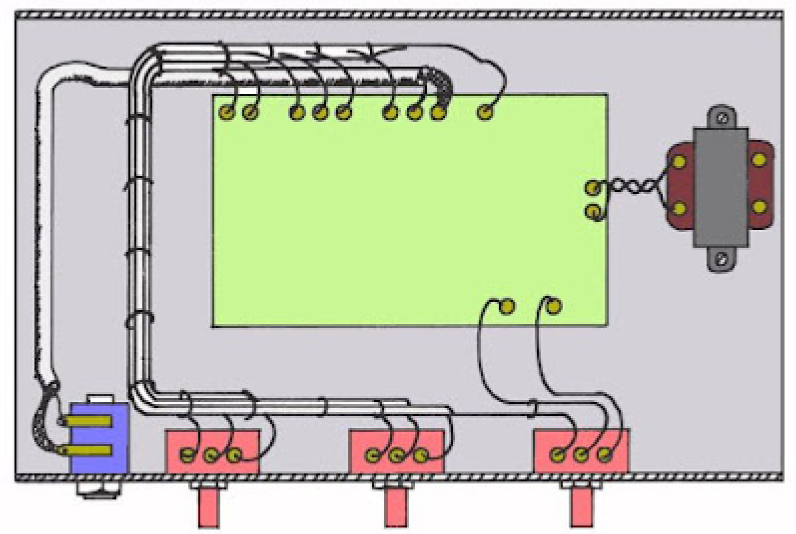
Inleiding
Een keurige print is maar de eerste stap naar een keurig apparaat. Uw behuizing hebt u ongetwijfeld voorzien van de nodige gaten voor potentiometers, LED's, schakelaars, ingangen, uitgangen en netdoorvoer. Wij gaan er van uit dat u al deze onderdelen hebt gemonteerd en vervolgens uw print op de bodem van de behuizing hebt vastgeschroefd. Als

laatste stap moet u alle soldeerlipjes op uw print verbinden met alle genoemde onderdelen. U kunt dat doen als voorgesteld in onderstaande figuur. Als u uw printen ontwerpt volgens de linker afbeelding in de allereerste figuur in dit artikel past zo'n bedrading natuurlijk helemaal bij uw karakter. Maar laten wij er van uit gaan dat u ook aan uw bedrading zorg en liefde wilt besteden. Dan gaan we wat anders verzinnen!



Zo'n bedrading heet in het vakidioom 'bird's nest wiring' en u wint er vást geen schoonheidprijs mee. (© 2017 Jos Verstraten)

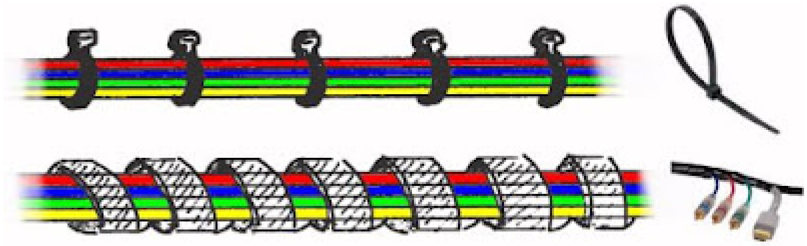
Een mooie kabelboom
De enige professionele en mooie manier om uw apparaat te bedraden is gebruik te maken van een kabelboom. In onderstaande figuur hebben wij geschetst wat hiermee wordt bedoeld. Alle draden en kabels worden samengebundeld tot een boom en lopen niet kris-kras door uw apparaat, maar keurig horizontaal en verticaal. Bovendien loopt deze boom niet over de print, maar naast de print. Dit heeft als voordeel dat u, bij eventuele reparatie of afregeling, gemakkelijk toegang hebt tot alle onderdelen op de print.



Het bedraden van uw apparaat door gebruik te maken van kabelbomen. (© 2017 Jos Verstraten)

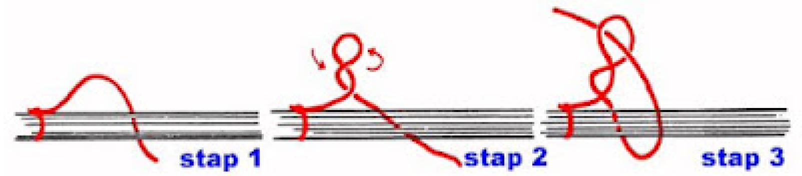
Kabelbomen met beleid aanleggen
Bij het bedenken van de manier waarop uw kabelbomen door uw apparaat lopen moet u rekening houden met enige wetmatigheden. Zo is het niet aan te raden de kabelboom langs de voedingstrafo te leiden. Waarschijnlijk zitten er in de boom een paar draadjes die het liefst gevrijwaard blijven van de elektromagnetische inductie van de trafo. Het is net zo min verstandig de draadjes tussen de secundaire van de trafo en de print in een kabelboom op te nemen. Door deze draadjes vloeit immers de volledige voedingsstroom onder de vorm van een 50 Hz stroom en rond deze draadjes ontstaat een groot elektromagnetische veld. Deze kunt u beter twisten en volgens de kortste weg aanleggen, zoals op de figuur is te zien.

Het maken van een kabelboom
De eenvoudigste manier is gebruik te maken van tie-wrap's die u om de vijf centimeter rond de kabelboom spant, zie onderstaande figuur. U kunt ook gebruik maken van speciale plastic gespiraliseerde wrap's die u in de vakhandel kunt kopen. Deze methode heeft het voordeel dat u gemakkelijk extra draadjes in de kabelboom kunt aanbrengen.



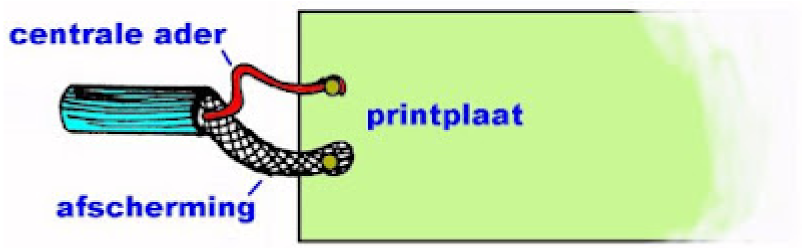
Tie-wrap's en gespiraliseerde wrap's zijn handig voor het netjes afbinden van uw kabelbomen. (© 2017 Jos Verstraten)

Een kabelboom maken met een touwtje
Als u van geknutsel houdt kunt u uw kabelboom zélf inbinden door middel van een touwtje. Hoe dat gaat is voorgesteld in onderstaande figuur.



Met behulp van deze knooptechniek kunt u uw kabelboom omsnoeren met een touwtje. (© 2017 Jos Verstraten)

Solderen van afgeschermde kabels
Als u afgeschermde draden soldeert moet u de binnenste geleider altijd iets langer maken dan de afscherming, zie onderstaande figuur. Op deze manier zorgt u ervoor dat er nooit een mechanische trekbelasting op het kwetsbare dunne draadje kan ontstaan. Eventuele trek wordt nu immers opgevangen door de veel robuustere afscherming.



De enige juiste werkwijze bij het solderen van een afgeschermde kabel. (© 2017 Jos Verstraten)

Gebruik nooit draden met harde kern
Gebruik steeds draden en kabels met een meervoudige soepele kern. Harde kernen, die dus uit één dikke koperen geleider bestaan, hebben de neiging af te breken op het punt waar u de isolatie hebt afgestript. Draai natuurlijk wél de koperen draadjes zorgvuldig in elkaar voordat u gaat solderen. Zelfs één draadje dat uitsteekt kan een kortsluiting met het nabijgelegen soldeeroogje veroorzaken.

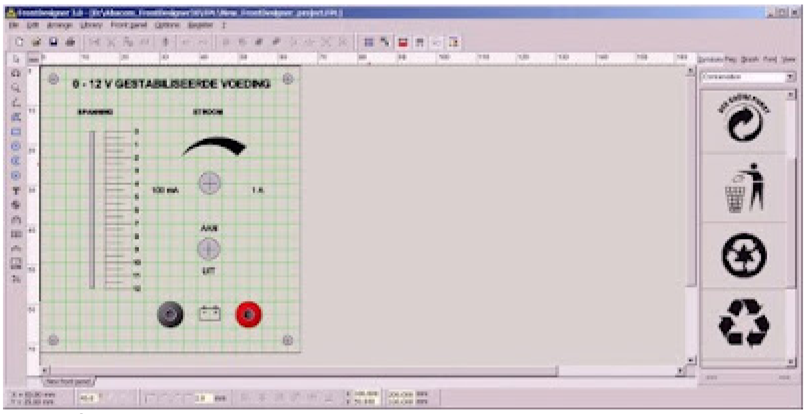
OFC, Oxygen Free Copper
De aders in kabels met soepele kern bestaan uit tientallen zeer dunne koperen draadjes. Hoe dunner deze draadjes, hoe soepeler de kabel! Als deze dunne draadjes echter uit 'normaal' koper worden getrokken, dan bestaat de kans dat deze draadjes snel breken als zij onder mechanische spanning worden gezet, bijvoorbeeld bij het knikken van de kabel. Een gevolg van het fabricageproces, waarbij zuurstofatomen aan het koper worden gebonden. Bij

Oxygen Free Copper (OFC), zuurstofvrij koper, wordt voorkomen dat het koper zich bindt aan zuurstof. De dunne draadjes worden getrokken in een volledig zuurstofvrije omgeving. Het gevolg is dat de dunne draadjes breukvast zijn en een knik in de kabel overleven.
Overigens is het een fabeltje dat het gebruik van OFC invloed zou hebben op de elektrische eigenschappen van een kabel. Audio- en video-signalen worden niet beter weergegeven als u kabels met OFC-aders gebruikt!

Een keurig frontplaatje

De mechanische bewerkingen zijn klaar, wat nu?
Ongetwijfeld bent u handig genoeg om een maagdelijk aluminium plaatje om te vormen tot de gewenste frontplaat van uw apparaat. Keurige ronde gaten boren, rechthoekige gaten maken voor paneelmetertjes, sleuven frezen voor schuifpotentiometers, het is u zonder meer toevertrouwd. Maar wat dan? Dat mooi bewerkte aluminium plaatje moet nu een échte frontplaat worden met beschrifting, symbolen en desgewenst een kleurtje.

'Front Designer' van Abacom
Het Duitse softwarebedrijf 'Abacom Ingenieurgesellschaft' biedt voor dit probleem een comfortabele oplossing aan. Voor een prijs van vijftig euro kunt u het programma 'Front Designer' downloaden of op CD-ROM kopen. Dit is een tekenprogramma, maar een dat volledig is geoptimaliseerd voor het ontwerpen van frontplaten voor elektronische apparatuur. Een van de prachtigste opties van het programma is de 'Scale Assistant', waarmee u in no time schaalverdelingen rond draaipotentiometers, draaischakelaars en schuifpotentiometers kunt ontwerpen. Hiermee is de vervelendste klus die komt kijken bij het ontwerpen van frontplaten in één klap opgelost. Alleen deze schaalassistent is meer waard dan de prijs van het complete programma. Als u gewend bent aan het programma, kunt u onderstaand frontplaatje in nog geen halfuurtje ontwerpen en printen op zelfklevende folie. Die folie plakt u nadien tot op de millimeter nauwkeurig op uw aluminium frontplaat en klaar is kees!



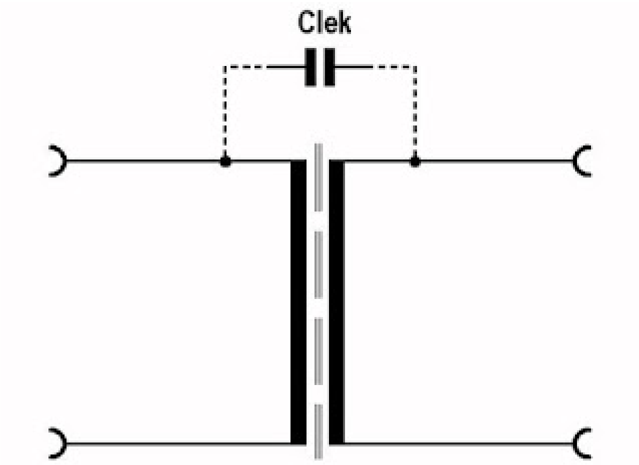
Een frontplaatje in het werkvenster van 'Front Designer'.
(© 2017 Jos Verstraten)

Ongewenste koppelingen

Onder ongewenste koppeling verstaat men elektrische verbindingen tussen onderdelen die volgens het schema niet met elkaar verbonden zijn. Deze ontstaan door parasitaire capaciteiten, spoelen en weerstanden die onzichtbaar tussen onderdelen aanwezig zijn, maar wél hun invloed doen gelden.

Ongewenste capacitieve koppelingen

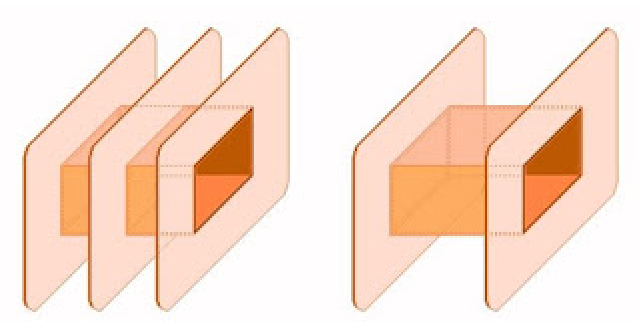
Niet te meten, wél aanwezig
Deze ongewenste koppelingen kunt u niet opsporen met een universeelmeter. Deze meet immers met gelijkspanning en voor gelijkspanning hebben deze parasitaire capaciteiten een oneindig hoge weerstand. De koppelingen komen alleen aan het licht als u een wisselspanningssignaal door uw schakeling stuurt. In onderstaande figuur hebben wij een eenvoudig voorbeeld van zo'n koppeling getekend. Tussen de primaire en secundaire wikkelingen van iedere trafo staat een parasitaire capaciteit. Deze ziet u niet, maar ze introduceert wél een impedantie tussen de twee wikkelingen, die volgens uw schema helemaal los van elkaar staan. Die impedantie kan dan weer een ongewenste stroom door uw schakeling tot gevolg hebben.



Een ongewenste capacitieve koppeling tussen de primaire en secundaire wikkelingen van een trafo. (© 2017 Jos Verstraten)

Parasitaire koppelingen in een schakeling of apparaat kunnen voor grote problemen zorgen en het is dus van het grootste belang dat u ze herkent en weet hoe u maatregelen kunt treffen om hun schadelijke invloed te minimaliseren.

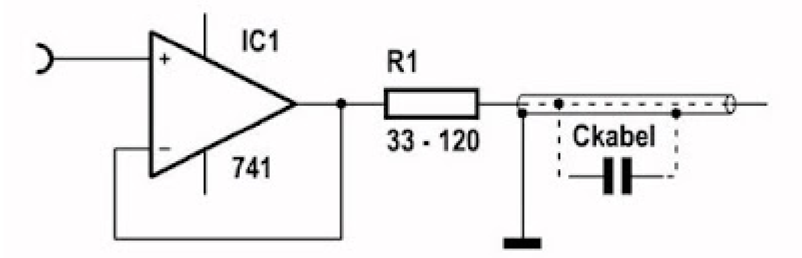
Trafo's met gescheiden kamers
Een heel eenvoudige remedie tegen de parasitaire koppeling in trafo's is gebruik te maken van trafo's met gescheiden kamers. Hierbij worden de secundaire en primaire wikkelingen niet **OP** elkaar gewikkeld, maar **NAAST** elkaar. In onderstaande figuur kunt u de wikkelkokers van beide soorten trafo's vergelijken. Het zal duidelijk zijn dat het contactoppervlak tussen secundair en primair bij de gescheiden kamers veel kleiner is en dus ook de parasitaire capaciteit tussen beide wikkelingen.



Het verschil tussen trafo's met één wikkelkamer en trafo's met twee wikkelkamers. (© 2017 Jos Verstraten)

Afgeschermde kabels
Een afgeschermde kabel bestaat uit een centrale koperen ader, omgeven door een uit koperdraad gevlochten afscherming. Tussen beide geleiders zit een isolerende stof. Een afgeschermde kabel is het schoolvoorbeeld van een condensator, die immers uit twee geleidende platen bestaat, gescheiden door een diëlectricum. Een afgeschermde kabel heeft

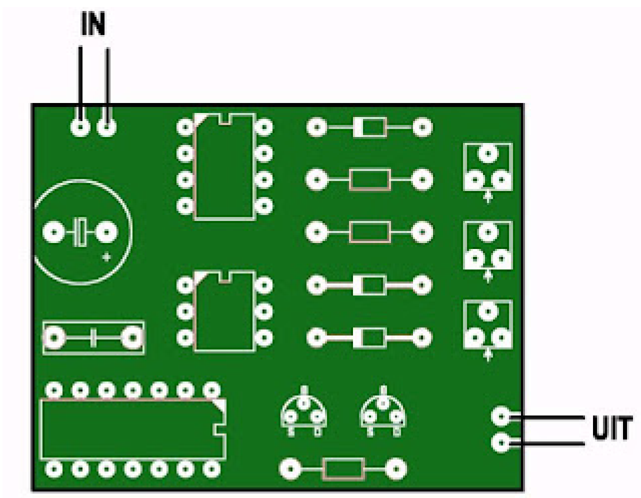
dus een eigen capaciteit waarvan de waarde afhangt van de constructie van de kabel en de lengte van de kabel. Deze parasitaire kabelcapaciteit kan voor grote problemen zorgen. Als u bijvoorbeeld een breedbandige operationele versterker, voorzien van een negatieve terugkoppeling, rechtstreeks aansluit op een lange afgeschermde kabel, dan kan de parasitaire capaciteit van de kabel er voor zorgen dat de versterker instabiel wordt en in het ongunstigste geval gaat oscilleren. Een oplossing voor dit probleem is getekend in onderstaande figuur. Als u tussen de uitgang van de op-amp en de kabel een klein weerstandje opneemt, een waarde tussen 33 Ω en 120 Ω voldoet meestal, dan wordt de invloed van de kabelcapaciteit C gedempt en zal de schakeling stabiel blijven werken.



Het dempen van de invloed van de kabelcapaciteit door het introduceren van een kleine serieweerstand. (© 2017 Jos Verstraten)

Let echter op! De serieweerstand introduceert, samen met de capaciteit van de kabel, een mooi eerste-orde laagdoorlaat filtertje. Het gevolg is dat de bandbreedte van uw schakeling dramatisch kan dalen. Bij het bepalen van de waarde van de serieweerstand moet u dus ook altijd rekening houden met de gewenste bandbreedte, oftewel wat de maximale signaalfrequentie is. U moet dus een compromis zoeken tussen minimale signaalverzwakking en maximale demping van de invloed van de kabelcapaciteit.

In- en uitgangen
Tussen alle voorwerpen die op een bepaalde afstand van elkaar staan, staat een capaciteit. Deze algemene regel geldt dus ook voor de soldeerpennetjes, waarop u de in- en uitgangssignalen van uw schakeling aansluit. Een gouden regel is dat u deze soldeerpennetjes zo ver mogelijk uit elkaar monteert. Dit geldt zeker voor gevoelige schakelingen, zoals laagfrequent voorversterkers en alle hoogfrequent schakelingen.

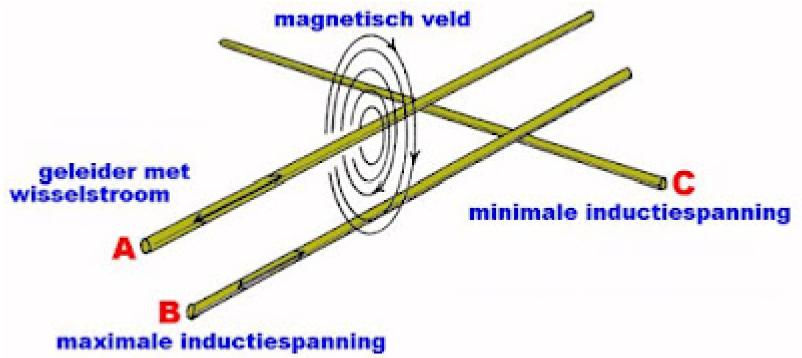


Monteer de soldeerpennetjes voor de in- en uitgangen zo ver mogelijk uit elkaar! (© 2017 Jos Verstraten)

IC-voetjes
IC- voetjes kunnen een vrij grote capaciteit hebben, de pennetjes staat immers maar 2,54 mm uit elkaar. Sommige IC-fabrikanten adviseren geen voetjes te gebruiken, maar de IC's rechtstreeks in uw print te solderen. Een remedie die soms kan helpen is alle niet gebruikte pennetjes uit het IC-voetje te verwijderen en het dán op uw print te solderen.

Ongewenste inductieve koppelingen

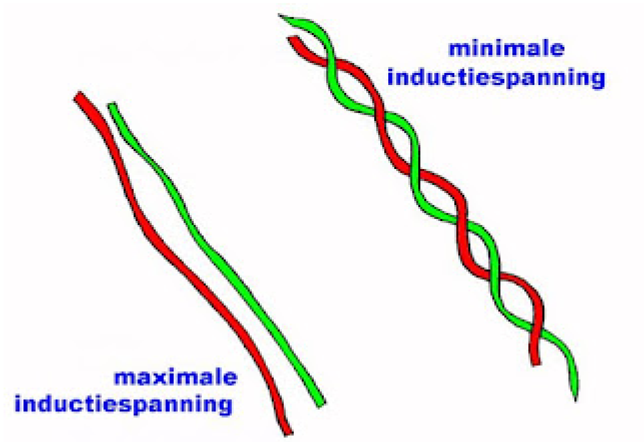
Elektromagnetische velden zijn de boosdoener
Inductieve koppeling is een nog moeilijker te bevatten verschijnsel dan capacitieve koppeling. De oorzaak is geschetst in onderstaande figuur. Rond iedere elektrische geleider, waardoor een wisselende stroom vloeit, ontstaat een wisselend magnetisch veld. Maar: in een geleider die zich in een wisselend magnetisch veld bevindt, ontstaat een wisselstroom. De grootte van deze wisselstroom is niet alleen afhankelijk van de sterkte van het magnetisch veld, maar ook van de lengte van de geleider die onderworpen is aan het magnetisch veld.



Het verschijnsel magnetische inductie toegelicht. (© 2017 Jos Verstraten)

Als u dus twee geleiders parallel heeft lopen en door een van die geleiders (A) vloeit een wisselstroom, dan zal het magnetisch veld dat daarvan het gevolg is, in de tweede geleider (B) een stroom en dus spanning genereren. De magnetische koppeling tussen de twee geleiders is immers maximaal. De meest eenvoudige oplossing voor dit probleem is beide geleiders niet evenwijdig te laten lopen, maar onder een hoek van 90° (C). De magnetische koppeling is dan minimaal en in geleider C worden minimale inductiestromen en -spanningen gegenereerd.

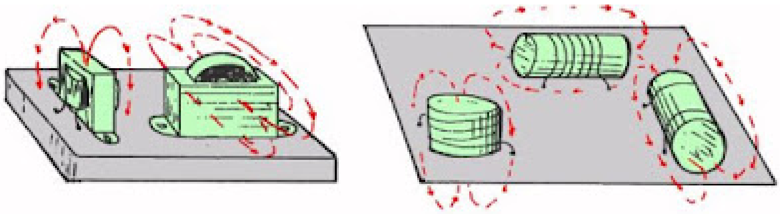
Getwiste draden
U kunt natuurlijk niet altijd vermijden dat geleiders parallel lopen. Denk maar aan een kabelboom, waarin de draden per definitie evenwijdig lopen. Tussen dergelijke draden bestaat uiteraard een maximale magnetische koppeling. Een oplossing is het twisten van de draden. De magnetische koppeling wordt hierdoor gereduceerd, waardoor de inductiestromen en -spanningen in de tweede draad kleiner worden.



Het twisten van evenwijdig lopende draden (© 2017 Jos Verstraten)

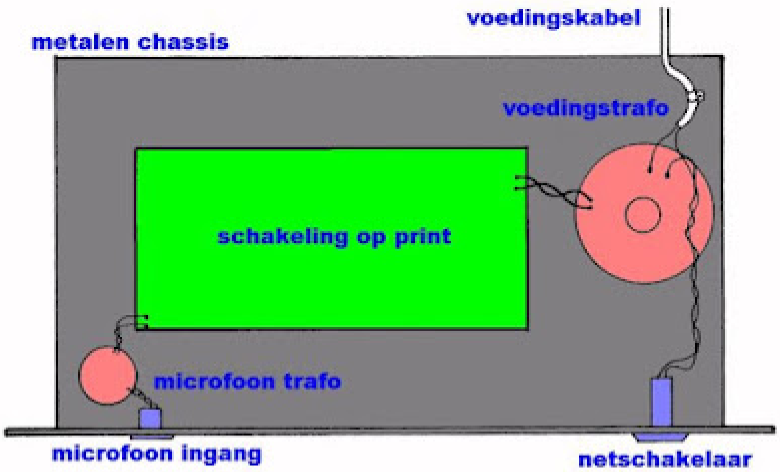
Transformatoren
Door de wikkelingen van een trafo loopt een wisselstroom en dus ontstaat er rond de trafo een wisselend magnetisch veld. Dit veld kan in een ander onderdeel, bijvoorbeeld een tweede trafo, een ongewenste inductiespanning genereren. Hetzelfde verhaal geldt voor spoeltjes die u op uw printplaten zet. Als u twee trafo's of spoelen parallel plaats, is hun

magnetische koppeling maximaal en krijgt u last van magnetische inductie. U moet dus, zie onderstaande figuur, transformatoren en spoelen loodrecht op elkaar plaatsen. De magnetische inductie is dan minimaal en de geïnduceerde spanningen zijn te verwaarlozen.



Transformatoren en spoelen moet u altijd onder een hoek van 90° plaatsen. (© 2017 Jos Verstraten)

Voedings- en signaaltransformatoren mogen niet naast elkaar staan
Het zal duidelijk zijn dat u gevoelige ingangsconnectoren en signaaltransformatoren zo ver mogelijk uit de buurt van voedingstransformatoren moet plaatsen. In onderstaande figuur is geschetst hoe u een microfoontransformator en -ingang plaatst ten opzichte van de voedingstrafo.



De plaatsing van een gevoelige ingang en een signaaltrafo ten opzichte van de voedingstransformator. (© 2017 Jos Verstraten)

Afgeschermde transformatoren
Als u er helemaal zeker van wilt zijn dat er geen elektromagnetische strooivelden in uw gevoelige ingangstransformatoren doordringen, moet u gebruik maken van volledig afgeschermde transformatoren. Op onderstaande foto hebben wij zo'n trafo voorgesteld, in dit geval van het merk Amplimo. Toegegeven, dergelijke transformatoren zijn een factor tien duurder dan niet afgeschermde, maar u bespaart uzelf een hoop ellende!



Een volledig afgeschermde microfoontrafo van Amplimo: prijzig, maar goed! (© Amplimo)

Mu-metaal of µ-metaal

Ontkomt u er niet aan gevoelige onderdelen of deelschakelingen te plaatsen waar kans bestaat op magnetische inductie, dan moet u deze onderdelen of deelschakelingen volledig elektromagnetisch afschermen. Daar bestaat maar één oplossing voor en dat is gebruik te maken van mu-metaal, ook μ-metaal genoemd. Mu-metaal is een legering van nikkel, magnesium, koper en ijzer. Het heeft een bijzonder lage magnetische weerstand, zodat het magnetische velden 'opslorpt' en verhindert dat de velden de afgeschermde ruimte binnendringen. Mu-metaal is niet goedkoop en u kunt het aanschaffen onder de vorm van vellen dunne folie of als zelfklevende tape. Met deze tape kunt u delen van een behuizing effectief afschermen tegen het binnendringen van magnetische velden.



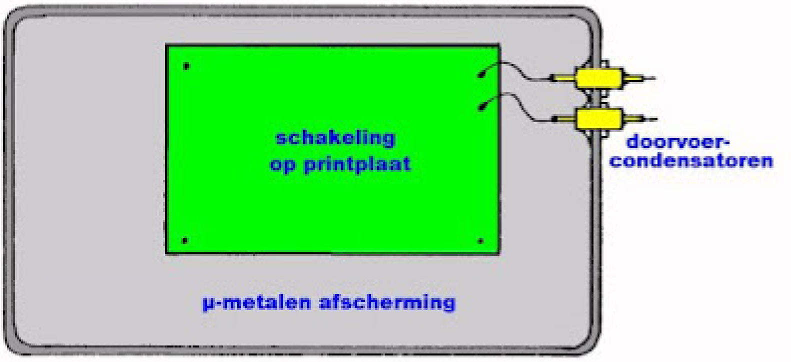
Een mu-metalen afscherming rond een buis in een high-end audioversterker. (© HiFi Forum)

Doorvoercondensatoren
Een volledige mu-metalen afscherming is nooit mogelijk. U moet in de wand van de afscherming immers gaatjes maken voor de doorvoer van massa, voedingsspanning, stuurspanningen en in- en uitgangen. Er ontstaan dus lekken in de afscherming. Om deze lek zo gering mogelijk te maken moet u de verbindingen tussen uw 'dode ruimte' en de buitenwereld uitvoeren door middel van doorvoercondensatoren. Deze handige, kleine en goedkope onderdeeltjes presenteren zich in onderstaande foto.



Een doorvoercondensator, een nuttig onderdeel in de strijd tegen ongewenst indringen van spanningen. (© Finimuis)

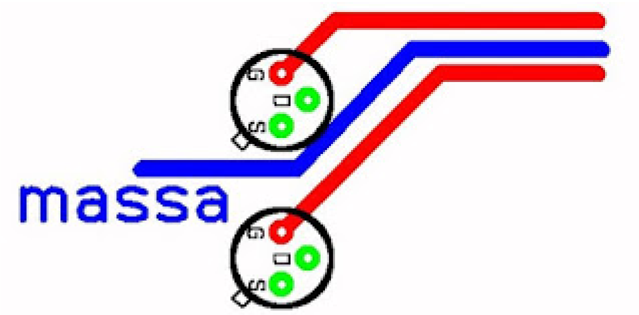
Een doorvoercondensator bestaat uit een klein ceramisch buisje. In het buisje zit een gat waardoor een geleider loopt. Het ceramisch buisje is voor een deel gemetaliseerd en over deze laag metaal is een tinlaag aangebracht. U boort een gaatje in uw afscherming, duwt de doorvoercondensator in dit gaatje en smelt met de soldeerbout het tin. Dit vloeit uit op de metalen buitenkant van uw afgeschermde behuizing en dicht op deze manier iedere elektromagnetische lek. Via de centrale geleider voert u alle signalen in en uit uw afgeschermde schakeling, zie onderstaande figuur.



Het aanbrengen van doorvoercondensatoren in de afgeschermde behuizing van een gevoelige schakeling. (© 2017 Jos Verstraten)

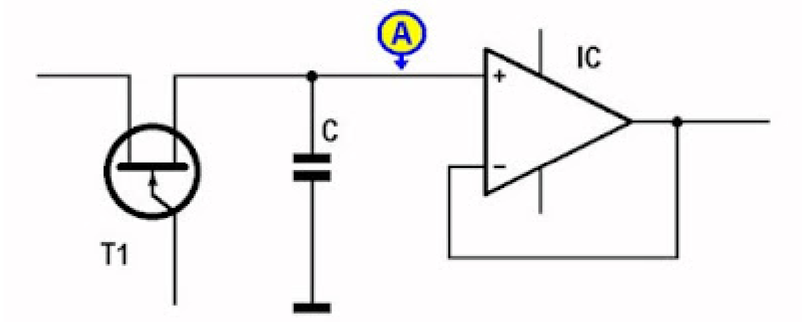
Ongewenste resistieve koppelingen

De oppervlakteweerstand van een print
Een print is alleen schijnbaar een perfecte isolator. Het basismateriaal heeft een bepaalde oppervlakteweerstand, die in de loop der jaren steeds lager wordt. Dat verschijnsel heeft te maken met de niet te vermijden vervuiling van de print. Als u dus twee printsporen naast elkaar legt, die ieder een zeer hoge impedantie hebben, dan bestaat de kans dat er via de oppervlakteweerstand van de print signaallekken ontstaan van het ene naar het andere printspoortje. Dit kunt u voorkomen door het systeem van onderstaande figuur toe te passen. Tussen de twee parallel lopende hoogimpedante printspoortjes (rood) legt u een derde spoor aan dat u met de massa of GND verbindt (blauw). Signaallekken treden nu alleen op tussen de hoog impedante lijnen en de massa en onderlinge beïnvloeding is uitgesloten.



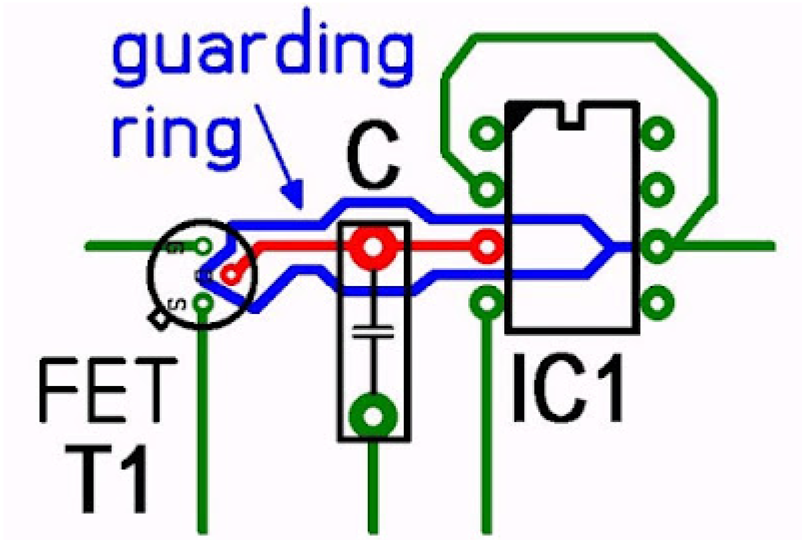
Isoleren van twee hoogimpedante printsporen door middel van een derde spoor dat met de massa van uw schakeling is verbonden. (© 2017 Jos Verstraten)

Guarding
De oppervlakteweerstand van uw print kan heel erg vervelend worden als u zeer hoogimpedante schakelingen op print wilt zetten. Als voorbeeld hebben wij in onderstaande figuur een deel van het schema van een sample&hold voorgesteld. De te samplen ingangsspanning wordt via een FET T1 doorgekoppeld naar de hold-condensator C. Deze is verbonden met de positieve ingang van een zeer hoogimpedante operationele versterker. Wil deze schakeling goed werken, dan is het van het grootste belang dat de lading zo lang mogelijk in de condensator opgeslagen blijft. Aan de eigen lek van de condensator kunt u niets doen. U kunt er echter wél voor zorgen dat de oppervlakteweerstand van de print, die de condensator ook ontlaadt, geen rol kan spelen.



Bij zeer hoogimpedante schakelingen is de oppervlakteweerstand van uw print niet meer verwaarloosbaar. (© 2017 Jos Verstraten)

De techniek die daarvoor wordt gebruikt heet 'guarding'. In onderstaande figuur is geschetst hoe dat in de praktijk werkt. Als u het schema bekijkt zal duidelijk zijn dat de hoogimpedante lijn gevormd wordt door het rode printspoor tussen de FET, de condensator en de op-amp. De op-amp is als spanningsbuffer geschakeld, de uitgangsspanning is dus gelijk aan de ingangsspanning. Die uitgangsspanning heeft echter een zeer lage inwendige impedantie. Wat u nu moet doen is het gevoelige rode spoor volledig omcirkelen met een ring en deze ring aansluiten op de uitgang van de op-amp. Dit is voorgesteld door de blauwe printsporen. Deze ring staat op dezelfde spanning als de rode lijn. Omdat er tussen de rode en blauwe sporen geen spanningsverschil staat, kan er ook geen stroom vloeien. Kortom, de oppervlakteweerstand van de print in de guarding-ring heeft geen enkele invloed: tussen twee punten waar geen spanningsverschil tussen heerst kan immers géén stroom vloeien!



Door het aanbrengen van een guarding ring elimineert u de invloed van de oppervlakteweerstand van de print. (© 2017 Jos Verstraten)

Het zal duidelijk zijn dat de guarding-techniek een prachtig hulpmiddel is, maar dat de toepassing ervan vrij beperkt is. In de praktijk komen alleen schakelingen, zoals deze als voorbeeld besproken, in aanmerking voor het toepassen van deze techniek. Een zeer hoogimpedant ingangssignaal dat op de positieve ingang van een op-amp staat wordt door middel van een met de uitgang van de op-amp verbonden guarding ring afgeschermd.